

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 10 293.0  
**Anmeldetag:** 10. März 2003  
**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH,  
Stuttgart/DE  
**Bezeichnung:** Vorrichtung zum Laserbohren  
**IPC:** B 23 K 26/42

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 09. Januar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Holz

12.02.03

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Vorrichtung zum Laserbohren

10 Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbohren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine entsprechende Vorrichtung nach dem Oberbegriff des  
15 Patentanspruchs 9.

Stand der Technik

Beim Laserbohren bzw. bei Abtragprozessen mittels Laser  
20 werden allgemein hohe Laserstrahlintensitäten eingesetzt, um Material in einer Bearbeitungsstelle pulswise zu verdampfen. Durch diese hohen Intensitäten kann über der Bearbeitungsstelle ein Plasma erzeugt werden. Die Stärke des Plasmas (Dichte und Ausdehnung) hängt von der  
25 Atmosphäre, der Laserwellenlänge und der Intensität der Laserstrahlung ab. Je höher die Intensität, desto stärker ist das erzeugte Plasma. Die Beschaffenheit der Atmosphäre hängt von den Umgebungsbedingungen, insbesondere dem Prozessgas und den abströmenden Materialpartikeln ab.  
30 Hierbei wird der Laserstrahl durch die Interaktion mit dem Plasma beeinflusst. Zum einen wird durch das Plasma Energie absorbiert, welche dem eigentlichen Abtrag nicht mehr zur Verfügung steht. Außerdem wird der Laserstrahl am Plasma reflektiert, was die Strahlqualität des Laserstrahls

verschlechtert. Hierbei wird der Laserstrahl filamentiert, oder er erfährt ungünstigerweise eine globale Richtungsänderung. Insbesondere beim Ultrakurzpuls-Laserbohren führt dies dazu, dass sich die  
5 Bearbeitungsqualität verschlechtert. Darunter zu verstehen sind Unrundheiten und Ausbrüche der Bohrung an der Austrittsseite eines Bohrlochs. Desweiteren können sich schiefe Bohrungen ergeben, d. h. die Bohrungsachse weicht von der Laserstrahlachse ab.

10 Um diese Effekte zu verhindern, bzw. zu reduzieren, könnte man beispielsweise die Intensität der Laserpulse reduzieren. Dies führte jedoch zu langen Bearbeitungszeiten. Ferner könnte mit einem Prozessgas  
15 geringerer Dichte oder bei Unterdruck gearbeitet werden. Eine diesbezüglich weiterführende Maßnahme wäre das Bohren im Vakuum.

Ziel der Erfindung ist, für das Laserbohren und  
20 Laserabtragen insbesondere mit kurzen Pulslängen (fs/ps/ns) eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, mittels der der Materialdampf über der Wirkstelle des Laserstrahls reduziert wird.

#### 25 Vorteil der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Laserbohren oder Laserabtragen, bei dem eine Wirkstelle eines Werkstücks von einem mittels eines Lasers erzeugten Laserstrahl  
30 beaufschlagt wird, zeichnet sich dadurch aus, dass die Wirkstelle einem elektrischen Feld ausgesetzt wird. Dieses Verfahren hat zum Vorteil, dass während des Laserbohrens auftretender Materialdampf und/oder auftretendes Plasma aus dem Bereich der Wirkstelle beseitigt wird.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen dass das elektrische Feld durch Anlegen einer Spannung an ein elektrisch leitendes Werkstück und eine von der  
5 Wirkstelle beabstandete Elektrode erzeugt wird. Die Partikel im Materialdampf, insbesondere positiv geladene Ionen werden durch das gerichtete elektrische Feld gezielt aus der Wirkstelle entfernt. Daraus ergibt sich wiederum, dass bei nachfolgenden Laserpulsen weniger Partikel  
10 vorhanden sind, an denen sich ein Plasma entzünden kann. Desweiteren ergibt sich durch die Erfindung in vorteilhafter Weise, dass eine ansonsten durch Plasma bzw. Materialdampf hervorgerufene Filamentierung und Ablenkung des Laserstrahls minimiert wird. Dies hat zur Folge, dass  
15 somit die Bearbeitungsqualität, insbesondere beim Laserbohren kleiner Bohrungsdurchmesser, verbessert wird. Zusätzlich wird die Repetitionsrate und somit die Bearbeitungsgeschwindigkeit beim Laserbohren deutlich erhöht. Bei einem elektrisch leitenden Werkstück wird  
20 Metall- bzw. Materialdampf bei geeigneter Polung des elektrischen Feldes zu der Elektrode beschleunigt, welche der Wirkstelle gegenüber liegt. Somit schlägt sich weniger Metaldampf um die Stelle des Materialabtrags nieder.

25 In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Wirkstelle einem magnetischen Feld ausgesetzt wird. Ein derartiges magnetisches Feld ist insbesondere weitgehend senkrecht zu dem elektrischen Feld gerichtet. Dies hat zum Vorteil, dass die sich von der Wirkstelle  
30 wegbewegenden Ionen aufgrund der auf sie wirkenden Lorenzkraft zusätzlich seitlich abgelenkt werden.

Desweiteren kann vorgesehen sein, dass ein durch das angelegte elektrische Feld erzeugter Strom gemessen wird.

Dieser elektrische Strom wird durch den Transport der Ionen vom Werkstück zur Elektrode hervorgerufen. Somit wird auf besonders einfache Weise ein leicht nachmessbarer Parameter zur Verfügung gestellt, der als Größe für die  
5 Prozesssicherung verwendet werden kann. Je höher dieser Strom ist, desto höher ist auch die Abdampfrate bzw. Abtragsrate des Materials vom Werkstück. Es besteht die Möglichkeit, die Abtragsrate On-Line zu messen. Daraus lässt sich wiederum ein Maß für die Bohrgeschwindigkeit  
10 ableiten.

Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass im Bereich der Wirkstelle oder zwischen Werkstück und Elektrode ein elektrisches Wechselfeld erzeugt und dessen kapazitiver  
15 Widerstand gemessen wird. Durch ionisierten Material- oder Metaldampf bzw. durch Plasma zwischen Werkstück und Elektrode, die man auch als zwei gegenüberliegende Kondensatorplatten auffassen kann, wird der kapazitive Widerstand beeinflusst. Durch Messung des kapazitiven  
20 Widerstands steht ein Mittel zur Verfügung, mit der die Stärke des Plasmas bestimmt werden kann.

Desweiteren ist vorgesehen, dass die Strom-Spannungsquelle als Gleichstrom-Spannungsquelle ausgebildet ist. Durch  
25 diese Ausgestaltung ergibt sich, dass während der vergleichsweise kurzen Laserpulse im Femto-, Piko- bzw. Nanosekundenbereich ein weitgehend statisches elektrisches Feld zwischen Werkstück und Elektrode anliegt.

30 In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass Werkstück und Elektrode so miteinander verschaltet sind, dass das Werkstück positiv und die Elektroden negativ geladen ist. Beim Abtragen mit gepulster Laserstrahlung hoher Intensität wird in der Bearbeitungsstelle des

Werkstücks mit jedem Puls Material, insbesondere Metall verdampft. Aufgrund der erfindungsgemäßen Polung des elektrischen Feldes entstehen dabei positive Metallionen. Diese Metallionen sowie weitere positive Ionen, insbesondere Plasmaionen in der Atmosphäre werden von dem positiv geladenen Werkstück abgestoßen, und weg von der Bearbeitungsstelle, hin zu der negativen Elektrode beschleunigt. Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass die Dichte des Materialdampfs zwischen einzelnen Laserpulsen über der Wirkstelle reduziert wird.

Außerdem ist vorgesehen, dass die insbesondere einstückig ausgebildete Elektrode wenigstens eine Öffnung aufweist, durch die der Laserstrahl ungehindert hindurchtritt. Die Größe einer derartigen Öffnung wird den Anforderungen entsprechend gewählt. Somit ist einerseits eine freie Propagation des Laserstrahls auf die Wirkstelle des Werkstücks gewährleistet, andererseits werden durch die negative Elektrode die meisten durch das Laserbohren an der Wirkstelle entstehenden positiven Ionen entfernt.

#### Zeichnung

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung genauer erläutert, dabei zeigt,

Figur 1 eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in schematischer Schnittansicht, und

30

Figur 2 eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung während der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in schematischer Schnittansicht.

### Bevorzugte Ausführungsform

In Figur 1 ist gegenüber einer Oberfläche eines metallischen Werkstücks 2 eine Elektrode 3 angeordnet. Diese Elektrode 3 weist eine Öffnung 3a auf, durch die ein von einem Laser 1a erzeugter Laserstrahl 1 hindurch treten kann. Die vorliegende Darstellung der Vorrichtung zeigt eine schematische Schnittansicht der Vorrichtung durch die Öffnung 3a der Elektrode 3. Es sei bemerkt, dass die Elektrode 3 einstückig ausgebildet ist. Das Werkstück 2 ist über eine Strom-Spannungsquelle 4 mit der Elektrode 3 verbunden. Die Strom-Spannungsquelle 4 ist so gepolt, dass das Werkstück 2 positiv und die Elektrode 3 negativ geladen ist. Ein zwischen dem Werkstück 2 und der Elektrode 3 anliegendes, durch die Strom-Spannungsquelle 4 erzeugtes elektrisches Feld 5 ist hier durch gepunktete Linien angedeutet.

Figur 2 zeigt dieselbe Vorrichtung wie Figur 1, wobei aufgrund der Beaufschlagung des Werkstücks 2 durch den Laserstrahl 1 an einer Wirkstelle 2a ein Materialabtrag erfolgt. Eine Wolke hierbei entstehender Metall- und/oder Plasmaionen 6 ist in Figur 2 durch einen ovalen gepunkteten Bereich dargestellt. Dadurch, dass das Werkstück 2 positiv geladen ist, sind Metall- und/oder Plasmaionen 6, die in der Wirkstelle 2a aufgrund des durch den Laserstrahl 1 hervorgerufenen Materialabtrag erzeugt werden, positiv geladen. Aufgrund elektromagnetischer Wechselwirkung werden sie vom Werkstück 2 abgestoßen und, durch das elektrische Feld 5 beschleunigt hin zur Elektrode 3 gezogen. In Tabelle 1 sind die hierzu benötigten physikalischen Grundlagen dargestellt.

Beschleunigung a der Ionen im elektrischen Feld	$a = \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{d}$	Elementarladung e und Masse m der Ionen sowie Elektrodenspannung U und Abstand d der Elektroden
Anzahl der Teilchen n (allg. Gasgesetz)	$n = \frac{p}{k} \cdot T$	Druck p, Boltzmannkonstante k und Temperatur T
Thermische Geschwindigkeit $v_{th}$	$v_{th} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$	S. O.
Driftgeschwindigkeit v der Ionen in Atmosphäre	$v = \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{2m \cdot v_{th} \cdot n \cdot A}$	Mit Stoßquerschnitt A der Ionen

Bei einem elektrischen Feld 5, welches z. B. durch eine Spannung von  $U = 1000$  Volt und einem Abstand von 5 mm zwischen Werkstück 2 und Elektrode 3 hervorgerufen wird, ergeben sich für eine Normalatmosphäre bei Raumtemperatur für Eisenionen Driftgeschwindigkeiten von ungefähr 60 m/s. Durch hohe Drücke und Temperaturen im Plasma wird die tatsächliche Driftgeschwindigkeit um mehrere Größenordnungen geringer sein. Je nach Anwendung ist die technische Ausführung der Elektrode 3 optimierbar, so dass ein möglichst hohes elektrisches Feld 5 im Wirkungsbereich des Laserstrahls 1 erzeugt wird.

Bei Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden durch den Laserpuls sehr hohe Dampfdrücke, Temperaturen und somit Beschleunigungen der abströmenden Werkstoffpartikel bzw. Metall und/oder Plasmaionen 6 erzeugt. Die Beschleunigungen und resultierenden Geschwindigkeiten sind daher größer als die lediglich aufgrund eines elektrischen Feldes 5 verursachten anzusetzen. Nach einem Laserpuls



bauen sich Dampfdruck und Temperatur aber schnell ab, so dass dann der Einfluß des elektrischen Feldes überwiegt. Der Einfluß des elektrischen Feldes während des Laserpulses ist gering. Die Pulslänge in der Größenordnung von Femto-  
5 bzw. Picosekunden ist gegenüber der Zeit zwischen zwei Laserpuls in der Größenordnung von Millisekunden klein. Somit findet die entscheidende Wirkung des elektrischen Feldes 5 hauptsächlich zwischen den Laserpuls statt.

10 Metallische Partikel oder Plasmaionen entstehen beim Laserbohren zwangsläufig und beeinträchtigen das Laserbohren zugleich. Durch Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es nunmehr möglich, diese metallischen Partikel oder Plasmaionen aus dem zu bearbeitenden Bereich  
15 bzw. der Wirkstelle zu entfernen und somit das Laserbohren und Laserabtragen zu optimieren.

12.02.03

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

### Ansprüche

1. Verfahren zum Laserbohren und Laserabtragen, bei dem  
10 eine Wirkstelle (2a) eines Werkstücks (2) von einem mittels  
eines Lasers (1a) erzeugten Laserstrahl (1) beaufschlagt  
wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Wirkstelle (2a) einem elektrischen Feld (5)  
15 ausgesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass das elektrische Feld durch Anlegen einer Spannung an  
ein elektrisch leitendes Werkstück (2) und eine von der  
20 Wirkstelle (2a) beabstandete Elektrode (3) erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch  
gekennzeichnet, dass das elektrische Feld (5) derart gepolt  
wird, dass positiv geladene Ionen (6) durch das elektrische  
25 Feld (5) vom Werkstück (2) weg beschleunigt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Wirkstelle (2a) einem magnetischen  
Feld ausgesetzt wird.

30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch  
gekennzeichnet, dass ein durch das angelegte elektrische  
Feld (5) erzeugter Strom gemessen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Wirkstelle (2a) oder zwischen Werkstück (2) und Elektrode (3) ein elektrisches Wechselfeld erzeugt und dessen kapazitiver Widerstand  
5 gemessen wird.

7. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Beseitigung von während des Laserbohrens oder -abtragens auftretendem Materialdampf und/oder Plasma (6).

10

8. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Prozesssicherung beim Laserbohren oder -abtragen.

9. Vorrichtung zum Laserbohren und Laserabtragen mit  
15 einem Laser (1a), bei der ein von dem Laser (1a) erzeugter Laserstrahl (1) eine Wirkstelle (2a) eines Werkstücks (2) beaufschlagt,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
dass eine Einrichtung (3, 4) zur Erzeugung eines  
20 elektrischen Feldes (5) im Bereich der Wirkstelle (2a) vorgesehen ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen  
25 Feldes eine Elektrode (3) und eine Stromspannungsquelle (4) umfasst, und dass beabstandet von der Wirkstelle (2a) die Elektrode (3) angeordnet ist, wobei zwischen einem elektrisch leitenden Werkstück (2) und dieser Elektrode (3) die Strom-Spannungsquelle (4) derart verschaltet ist, dass  
30 zwischen Werkstück (2) und Elektrode (3) das elektrische Feld (5) anliegt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Strom-Spannungsquelle (4) als Gleichstrom-Spannungsquelle ausgebildet ist.
- 5 12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass Werkstück (2) und Elektrode (3) so miteinander verschaltet sind, dass das Werkstück (2) positiv und die Elektrode (3) negativ geladen ist.
- 10 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Wirkstelle (2a) des Werkstücks (2) ein magnetisches Feld angelegt ist.
- 15 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine elektrische Messeinrichtung zur Messung des Stroms, der zwischen Werkstück (2) und Elektrode (3) fließt, vorgesehen ist.
- 20 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Strom-Spannungsquelle (4) zur Erzeugung einer hochfrequenten Wechselspannung ausgelegt ist, und dass eine Messvorrichtung zur Messung eines kapazitiven Widerstands zwischen Werkstück (2) und Elektrode (3) vorgesehen ist.
- 25 16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die insbesondere einstückig ausgebildete Elektrode (3) wenigstens eine Öffnung (3a) aufweist, durch die der Laserstrahl (1) ungehindert
- 30 hindurchtritt.

5

12.02.03

10 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

### Zusammenfassung

15

Mit erfindungsgemäßer Vorrichtung bzw. erfindungsgemäßem Verfahren wird das Laserbohren oder -abtragen optimiert. Gegenüber einem zu bearbeitenden Werkstück (2) ist eine  
20 Elektrode (3) angeordnet. Eine Strom-Spannungsquelle (4) ist so geschaltet, dass zwischen Werkstück (2) und Elektrode (3) ein elektrisches Feld (5) anliegt, wobei das Werkstück (2) positiv und die Elektrode (3) negativ geladen ist. Ein Laserstrahl (1) ruft durch Beaufschlagung in einer  
25 Wirkstelle (2a) des Werkstücks (2) Materialabtrag hervor. In der Nähe der Wirkstelle (2a) entstehende Metall- und/oder Plasmaionen (6) sind positiv geladen. Sie werden in Richtung der Elektrode (3) beschleunigt, so dass sie von der Wirkstelle (2a) entfernt werden.

30

(Figur 2)

1 / 1

FIG. 1

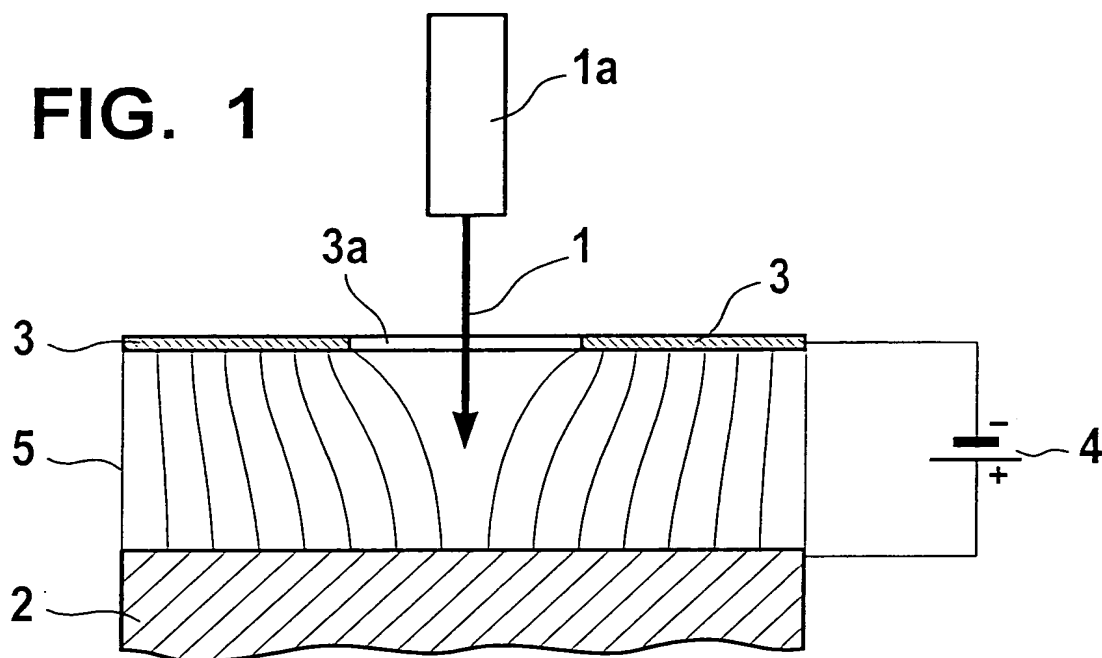


FIG. 2

